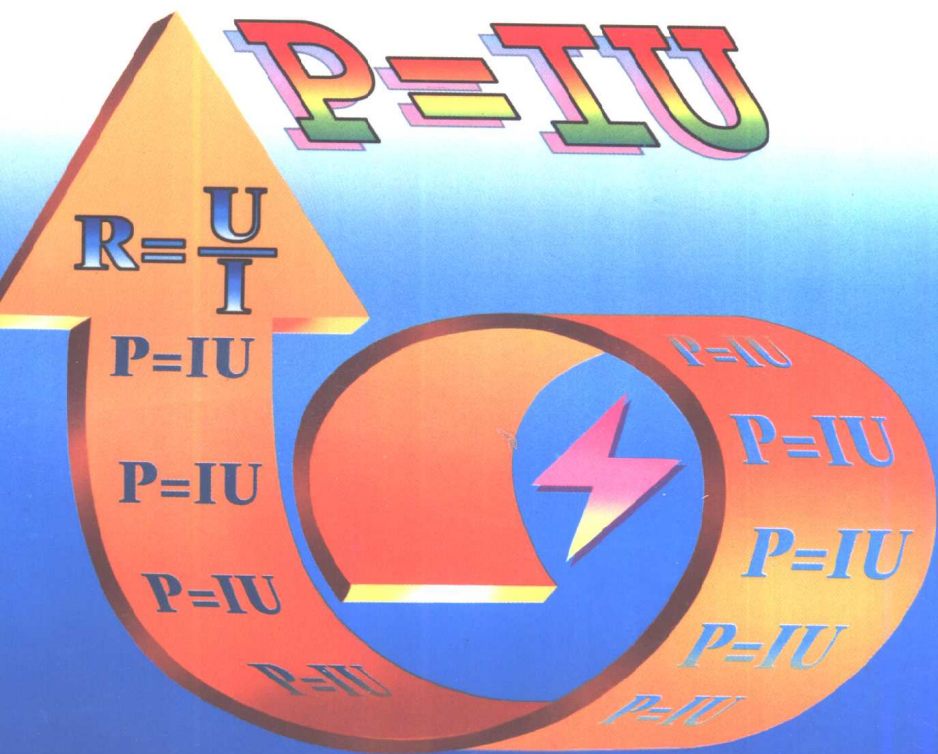


实用 电路

分 析 与 计 算

宋东生 编

实用电工丛书



人民邮电出版社

实用电工丛书

实用电路分析与计算

宋东生 编

人民邮电出版社

内 容 简 介

本书是电工实用技术的入门读物。书中简明扼要地阐述了电工学的基本原理和基本分析方法,并详细地介绍了常用电路的计算。全书共分四章,主要内容为:直流电路的计算、电磁与磁路的计算、单相交流电路及三相交流电路的计算等。书中编入了一百多个计算例题,示范了计算方法与解题步骤。该书内容深入浅出,文字通俗易懂,适合电工及电工技术业余爱好者阅读,也可作为电工技术培训班的教材。

实用电工丛书

实用电路分析与计算 Shiyong Dianlu Fenxi Yu Jisuan

- ◆ 编 宋东生
责任编辑 唐素荣
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
北京鸿佳印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
- ◆ 开本:787×1092 1/32
印张:6.25
字数:140 千字 1997 年 4 月第 1 版
印数:10 001—14 000 册 2000 年 1 月北京第 3 次印刷

ISBN 7-115-06313-3/TN·1133

定价:8.00 元

《实用电工丛书》编委会

主 任： 牛田佳

副 主 任： 李树岭

编 委： 王如桂 王英杰 王锡江

王霁宗 孙中臣 张国峰

任致程 宋东生 陈有卿

陈国华 郑凤翼

《实用电工丛书》前言

电广泛应用在社会生活的各个领域。在广大城乡、在各行各业,形成了庞大的电工人员队伍。

为了普及电工知识,帮助广大电工人员,特别是初级电工人员学习电工的基本理论知识,掌握科学、规范的电气操作技术,提高操作技能水平,我们组织编写了这套《实用电工丛书》。参加编写工作的都是长期从事电气技术工作和培训工作的专业人员,实践经验丰富。这套书有的针对某一行业、某一项电气操作技术,有的针对某一种常用电气设备,详细介绍了有关的电工知识,电气操作技能和要求,以及大量实际经验和线路等。内容力求切合实际,突出实用性,并采用深入浅出、图文并茂的叙述方法,做到篇幅适中,文字精练,通俗易懂,让读者学习以后,可以迅速应用到实际工作中去,达到立竿见影的效果。本丛书适合初中以上文化程度的工矿企业和农村电工阅读,也可作各类电工培训班的教材使用。

衷心希望广大从事电气工作的专家、学者、工作人员对丛书提出宝贵意见,以便于我们改进出版工作,更好地为读者服务。

《实用电工丛书》编委会

前 言

近年来,随着社会主义经济建设的蓬勃发展,城乡电气化程度迅速提高,各行各业中电气工人的队伍正在不断壮大。为提高电工的专业素质和操作技能,我们编写这本适合电工初学者用的电工实用技术入门读物。根据编者从事业余电工培训工作的经验,特别是先后在中央电视台播讲《电工原理》和《电学知识讲座》的体会,针对电工实际工作的需要,简明扼要地阐述了电工学的基本原理和基本分析方法,并较详细地介绍了常用电路的计算。电工初学者通过阅读本书,能较快的提高分析问题与解决问题的能力,更快地适应本职工作。

本书共分四章,主要包括:直流电路的计算、电磁与磁路的计算、单相交流电路及三相交流电路的计算等。本书内容深入浅出,通俗易懂,介绍的电工基础知识具有科学性、系统性和实用性。书中编选了 100 多计算例题,示范了常用电路的计算方法和解题步骤,使具有中等文化程度的读者,能在较短的时间内学会电路的基本计算技巧。

本书适合电工技术初学者阅读,也可作为电工技术培训的教材。

编 者

1996 年 8 月

目 录

第一章 直流电路的计算	1
1.1 物质结构的电子学说	1
1.2 电流、电动势和电压的概念.....	3
1.3 电阻与导线电阻的计算.....	10
1.4 欧姆定律及其应用.....	13
1.5 电阻串联、并联及混联电路的计算	19
1.6 电路中电位的计算.....	27
1.7 复杂电路的分析与计算.....	31
1.8 电功率及耗电量的计算.....	40
1.9 电热的计算.....	43
第二章 电磁与磁路的计算	45
2.1 磁与电磁的基本概念.....	45
2.2 磁性材料及磁化曲线.....	51
2.3 磁路及全电流定律.....	60
2.4 磁路定律.....	67
2.5 简单磁路的计算.....	74
2.6 电磁感应现象.....	78
2.7 自感应与互感应.....	84
2.8 涡流.....	95
第三章 单相交流电路的计算	97
3.1 交流电的特点.....	97
3.2 交流电的相位、初相和相位差.....	106

3.3	正弦量的矢量表示法	111
3.4	纯电阻负载的交流电路	116
3.5	纯电感负载的交流电路	121
3.6	电阻与电感串联的交流电路	130
3.7	交流电路中的电功率	137
3.8	纯电容负载的交流电路	142
3.9	电阻与电容串联的交流电路	151
3.10	电阻、电感和电容串联的交流电路	153
3.11	串联谐振电路	156
3.12	电感与电容的并联电路	159
3.13	功率因数的提高	162
第四章	三相交流电路的计算	168
4.1	三相交流电的产生	168
4.2	三相供电线路	171
4.3	星形接法的相电压与线电压	175
4.4	负载作三角形连接的三相电路	180
4.5	对称三相交流电路电功率的计算	184
4.6	三相供电系统中的保护接地与保安接零	186

第一章 直流电路的计算

1.1 物质结构的电子学说

我们周围的世界是一个物质的世界。存在于自然界的物质不下几百万种,尽管它们的形态性质各不相同,却是由简单的化学元素构成的。不同种类的化学元素按不同的比例相互化合,构成了几百万种不同的物质。

物质的最小微粒叫做分子。分子虽然极小,却依然保持着物质原有的各种性质。拿水来说,它的分子是仍具有水的特性的最小微粒。如果我们把水的分子再进一步分解,就还原出组成它的化学元素的最小微粒——原子,这时它就失去了水的特性。水的分子是由两个氢原子和一个氧原子化合成的。食盐的分子是由一个钠原子和一个氯原子化合成的;蛋白质的分子里含有几千个碳、氢、氧、氮、磷和硫的原子,等等。由此可见,物质的分子都是由化学元素的原子组成,不同物质的分子,因其中所含的原子种类和数量不同而互有差异。

原子的体积是极其微小的,以最简单的氢原子为例,其直径约为 10^{-8}cm ,至于其它各种原子,也不过比氢原子大上几倍。原子虽然这样微小,却具有复杂的结构。

学习电工学,暂不必要去研究和探讨原子的细微结构问题。我们需要理解和掌握的是:每一种化学元素的原子都包含一个处在中心的原子核,在原子核周围有若干个电子沿一定的轨道

高速度地旋转运动,其组成与太阳系有些相似,原子核好比太阳,绕核运动的电子则可以比做绕太阳运动的行星。原子核依靠正负电荷间的吸引力把电子束缚在它周围运动。

一切化学元素的原子,其原子核都是带正电的,而电子是带负电的。在原子未受外来影响时,原子核所带的正电荷,等于它周围所有电子所带的负电荷。这样,原子对外界就不显示电性,也就是电中性的。

不同的原子,其原子核的质量和它周围的电子数目是各不相同的。按结构来说,氢原子是最简单的,它由一个原子核和一个电子组成。碳原子的结构就要复杂一些,它是由一个原子核和6个电子组成,如图 1.1 所示。其它如铜原子,原子核周围有 29 个电子,铀原子的原子核周围则有 92 个电子。

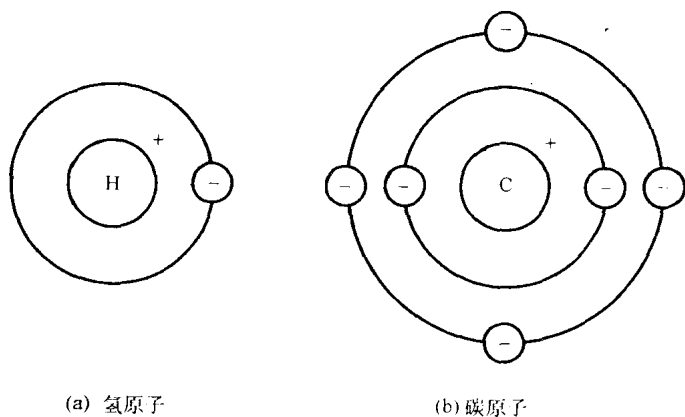


图 1.1 氢原子和碳原子结构

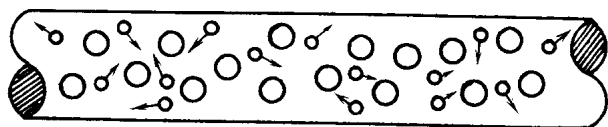
值得注意的是,有些原子中电子数目比较多,它们分布在几层轨道上。那些靠近原子核的内层轨道上的电子,与原子核之间的吸引力比较强,所以不容易脱离原子核。但是,最外层轨道上的电子,受核的吸引力比较弱,所以,很容易摆脱原子核的束缚,

离开自己的运行轨道,成为“自由电子”。金属等物质都具有不稳固的外层电子,在常温下它们就会成为自由电子。这些自由电子在分子或原子间作着紊乱的不规则的运动,这种运动称为“热运动”。因此,金属中存在着大量的自由电子(例如,每 1cm^3 的铜,约含有 8×10^{32} 个自由电子)。

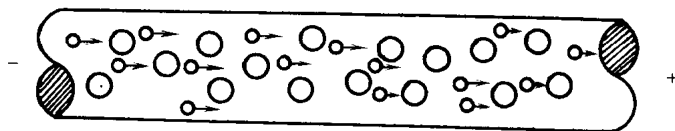
如果原子失掉一个或数个外层电子,它的电性中和就被破坏了,这个原子就变成带正电荷的正离子。反之,如果有一个或数个外来电子同原子结合起来,它就会带负电荷,成为负离子。中性的原子由于失去电子或额外地获得电子变成带电的离子的过程,叫做电离。

1.2 电流、电动势和电压的概念

上一节谈到,金属中存在着大量的自由电子,这些自由电子总是处于热运动状态,如图 1.2(a) 所示。这些自由电子在外力的作用下会朝着一定的方向运动,能使电子朝一定方向运动的



(a)



(b)

图 1.2 电流的形成

力称为电场力,电子这种有规则的运动称为电流,如图 1.2(b)

所示。此外,在有些液体或气体中,如果存在着正离子和负离子,它们在电场力的作用下朝一定的方向运动也能形成电流。总起来说,电流就是电荷——自由电子或正、负离子——的有规则的运动。

一、电流

在实际工作中,我们常常需要计量电路中电流的大小。电流的大小可以用在一定的时间内通过导线任一横截面的电荷量多少来计量。电流的大小称为电流强度,简称为电流。在电荷均匀流动的情况下,电流强度可用下列公式计算,即

$$I = \frac{Q}{t}$$

式中 I ——电流强度,单位是安培,用 A 表示。

Q ——电荷量,单位是库仑,用 C 表示;

t ——电荷通过的时间,单位是秒,用 s 表示。

在国际单位制中,电流强度的基本单位是安培,用符号 A 表示,它是这样规定的:若在 1 秒钟内通过导线横截面的电荷量是 1C(注:1C=6.242×10¹⁸个电子所带的电量),电流强度就定为 1A,即

$$1\text{A} = \frac{1\text{C}}{1\text{s}}$$

在实际工作中,电流往往比 1A 小得多,常采用 mA(毫安)和 μA (微安)来度量,它们的关系是

$$\begin{aligned} 1\text{mA} &= \frac{1}{1000}\text{A} \\ 1\mu\text{A} &= \frac{1}{1000}\text{mA} \\ &= \frac{1}{100\,000}\text{A} \end{aligned}$$

习惯上人们都把正电荷移动的方向定为电流的方向,它与电子流动的方向相反。

电流可分为直流电和交流电两种:如果电流的大小和方向都不随时间而变化,称为直流电,如图 1.3(a)所示。如果电流的方向始终不变,电流的大小随时间作周期性的变化,叫做脉动电流,如图 1.3(b)所示。当电流的方向和大小均随时间按一定规律而变化,则称为交流电,如图 1.3(c)所示。

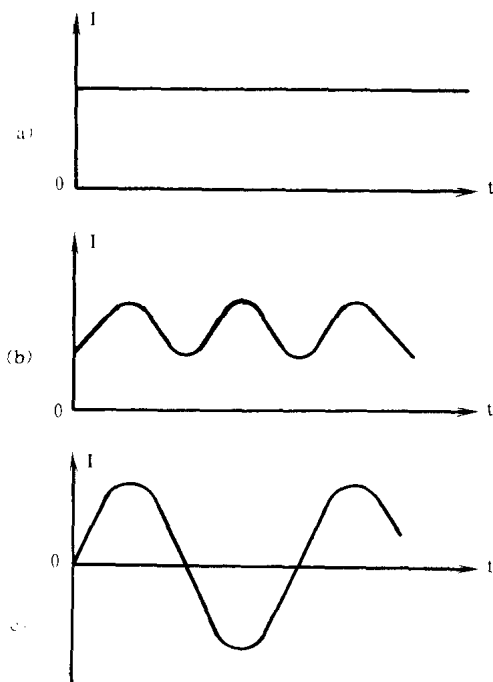


图 1.3 电流的种类

例题 1.1 在 1 分钟内通过导线横截面的电量为 90C ,求电流强度。

解 电流强度可按下式算出:

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{90}{1 \times 60} = 1.5(\text{A})$$

例题 1.2 电路中的电流为 0.5A ，试求 2 分钟内流过电路的电量。

解 $Q = It = 0.5 \times 2 \times 60 = 60(\text{C})$

二、电动势和电压

图 1.4 绘出了大家熟悉的手电筒的电路，把一个小灯泡通

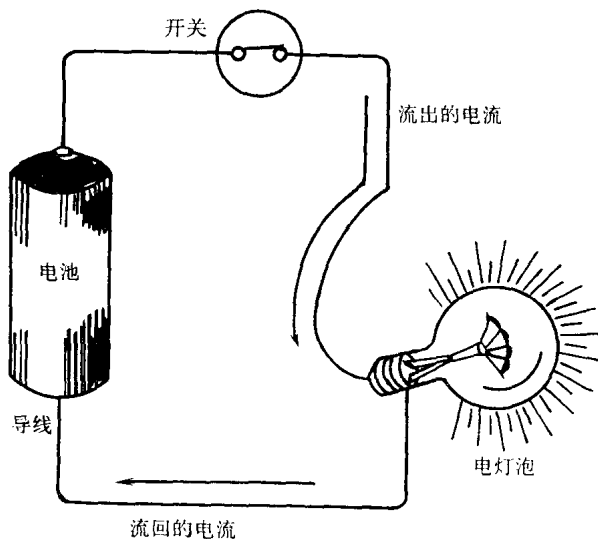


图 1.4 最简单的电路

过金属导线和开关，与干电池相连接。把开关合上，小灯泡就亮了；把开关断开，小灯泡就熄灭。这正说明在含有电源的闭合的电路中有电流流通，电源是产生电流的源泉。

为什么电源能推动电荷在电路里源源不断地流通呢？面对这个问题，人们会自然地联想到，电源内部一定存在着一种特殊力量，这种力量能驱使电荷按一定的方向在电路里持续流动，形

成电路中的电流。下面我们具体分析电源的特性和它在电路里所起的作用。

为了便于理解,我们把电流现象同大家熟悉的水流现象相比拟。假如有 A、B 两个水槽(图 1.5),水槽之间用管子连通,如

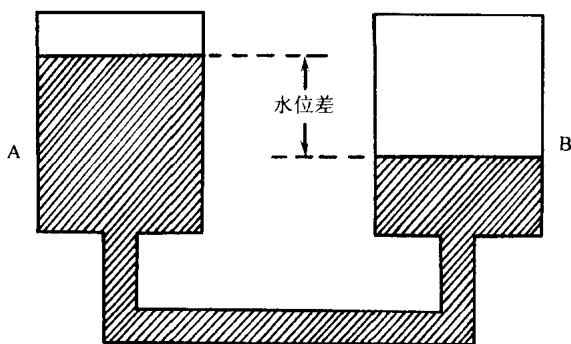


图 1.5 水流的维持

果两个水槽的水面一样高,水管中就不会有水的流动。只有当两个水槽的水位一个高一个低时,水才会从水位高的水槽通过水管流向水位低的水槽。这就是说,有了水位差,就有了使水流动的压力,所以,水位差也叫水压。水压愈大,水流就愈大。同样,为了使电荷在电路中流动,也需要有“电位差”。在一段电路上,当电路两端有电位差存在时,电流就会从高电位点流向低电位点,这两点间就好像有一种“压力”,这种“压力”就叫做电压。

大家知道,任何一种直流电源都有两个电极,一个是正极,它缺少电子带正电;另一个是负极,它多余电子带负电。如果用导线把负载和电源接成闭合回路,这时电路中的自由电子就会受到正极的吸引和负极的排斥,形成由负极经外电路流向正极的电子流。按照电流方向跟电子流方向相反的规定,在外电路中,电流总是从电源的正极流向电源的负极。这样,我们就认为,电源的正极对负极具有高电位,而负极对正极具有低电位。电源

正极与负极之间的电位差,就是电源两端的电压。

电源是如何建立并维持正极与负极之间的电压的呢?实际上任何一种电源都是一个能量转换装置。例如,在干电池内,化学能转换成电能;在发电机内,机械能转换成电能;在硅光电池内,光能转换成电能……。在电源内部能量转换的过程中,产生一种非静电力(又称局外力或电源力),它能把正电荷从负极移动到正极,建立并维持电源两极间的电位差(电压),使电流在电路里持续地流通。为了衡量电源中非静电力对电荷做功的能力,引入了电动势这一物理量。电源的电动势在数值上等于非静电力把单位正电荷从电源的负极经电源内部移动到正极所做的功,其数学表达式为

$$E = \frac{W}{Q}$$

式中 E ——电动势(V)

W ——非静电力所做的功(J)

Q ——被移动的正电荷量(C)

在国际单位制中,电动势的单位是伏特(用符号 V 表示)。当非静电力(电源力)把 1C 的电荷量从电源负极移动到正极所做的功为 1J(焦耳)时,则电动势为 1V。

电源内部有了电动势,就在正极和负极间建立起电压,电压用符号 U 表示,单位也是伏特(V)。广义地说,在电路上 a、b 两点间的电压 U_{ab} 在数值上等于电场力把单位正电荷从 a 点移动到 b 点所做的功。显然,电压的方向是指正极(高电位)到负极(低电位)的方向,即电位降低的方向,它与电动势指电位升高的含义刚好相反。

三、电路和电路图

实际电路都是由一些按需要起不同作用的电路元件所组

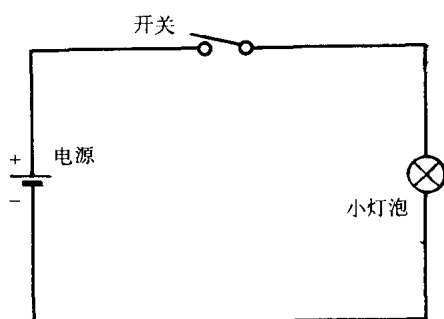


图 1.6 电路图

成,如干电池、发电机、开关、电动机、小灯泡等。图 1.4 就是一个最简单的电路,为了便于对实际电路进行分析和计算,在工程电路中,都用一些规定的符号来表示各种电路元件,图 1.6 就是图 1.4 的电路图。电路图是实际电路的抽象化表示,常称之为

“电路模型”。图 1.7 列举了几种常见的电路符号。

元件名称	符号	说明
直流电源		长线表示正极, 短线表示负极
导线		直线表示没有电阻的导线
		两线交叉并相连结
		两线交叉但不相连结
开关		
电阻		
可变电阻		
灯泡		
电流表		
电压表		
接地点		

图 1.7 几种常见的电路符号